

電気コンロからその軸上種々の距離に於ける一点が受ける輻射熱

杉 原 雅, 三村 泰一郎

Radiated Heat received at a Point of Various Distances from a Portable Electric Cooking Furnace on its Axis.

MIYABI SUGIHARA and TAICHIRO MIMURA

1. 概 要

輻射熱のみを用いるために電気コンロを垂直に支え、その軸上種々の距離にある一点の受ける輻射熱はその距離を l 、電熱盤の半径を a とした場合、 $\frac{a^2}{a^2+l^2}$ と直線関係にある。理論的に得た値を実験により確めた。

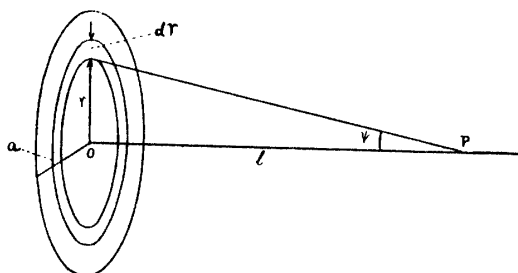
2. 理 論

電熱盤に電流を通し相当時間経てば電熱盤が一様に熱せられておるから、一様に熱せられた半径 a の円板と見做し、その円板の軸上の一点の受ける輻射熱を理論的に計算すれば次の如くなる。1図に於て円板の軸上、円板から距離 l にある一点 P を取り、円板に半径 r なる円を考え、巾 dr なる薄環が P に与える輻射熱を計算する。今円板の単位面積が単位時間に P の側に発生する輻射熱を k とすれば薄環が生ずる輻射熱は単位時間に $k \cdot 2\pi r dr$ である。 P の受ける輻射熱は $\frac{k \cdot 2\pi r dr \cos \psi \cos \psi}{r^2+l^2}$

である。図から $\cos \psi = \frac{l}{\sqrt{r^2+l^2}}$ である。円板全体に積分すれば、 P の受ける総熱量 H は

$$H = \int_0^a \frac{k \cdot 2\pi l^2 r dr}{(r^2+l^2)^2} = \frac{k\pi a^2}{a^2+l^2} \quad (1)$$

寒暖計の球及びそれに取付けられた銅冠 (2図参照) の水当量を w 、銅冠の受熱面積を S 、 H により上昇した



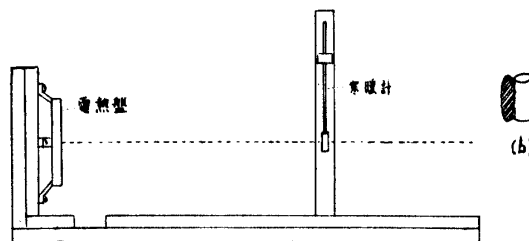
1 図

温度を θ とすれば

$$w\theta = \frac{k\pi a^2}{a^2+l^2} S \quad (2)$$

故に θ は $\frac{a^2}{a^2+l^2}$ と直線関係にある。

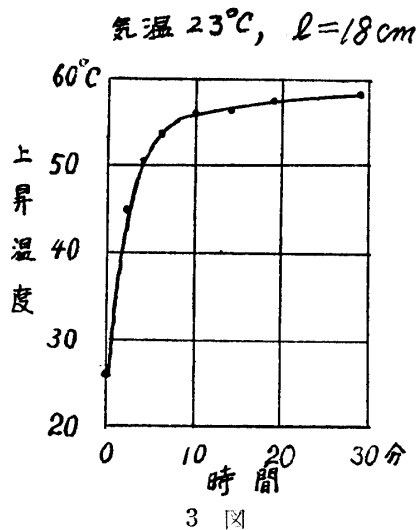
3. 実験方法



2 図 (a)

電熱盤の輻射熱だけを用いる為に、2図(a)の如く電熱盤の有効半径 (溝に嵌められたニクロム線を有する盤の中心から最外側の溝までの距離) 6.5 cm の電熱器を垂直に支え、垂直軸の周りに回転出来るようにした。又寒暖計を支柱に取り付けその支柱を電熱盤から種々の距離に動し得るようにした。寒暖計の球の部分に (b) 図の如き縦 1.3 cm、横 1.1 cm の楕円形の平面を有する銅冠を取付け、その受熱面を黒塗りにして輻射熱の進行方向に垂直に置く、電熱盤にはスライダックとボルト計及びアンペア計を挿入し実験中一定のボルトとアンペアを保たしめる。

本実験に於ては電熱盤の軸上、寒暖計の位置を電熱盤から種々の距離におき寒暖計と電熱盤との間に輻射熱を遮蔽する衝立をおき、電熱盤に電流を通じ相当時間経ってから実験開始と共に衝立を取去り、寒暖計の示す上昇温度と時間との関係を求める。その一例を3図に示す。此曲線から寒暖計が上昇し終った時の温度を読み、之以上上昇しないと思われる温度即ち飽和温度を推定する。その温度から気温を引去った温度が電熱盤から受けた熱により上昇した温度 (θ) である。寒暖計及び銅冠が電熱



盤から受けた熱の一部分は外気へ放散されるから、放散しないとすれば何度であろうかと云う補正をしなければならぬ。

その補正として3図の曲線の曲り方の甚しい附近を取り温度差 6°C 乃至 10°C の範囲に於て、放散されると思われる熱量を計算して之を補正量とした。之は勿論正しい補正量ではなからうがその概値は得られると思う。その補正の方法は「ガス焔の種々の大きさによるアルミニウム鍋内の水の加熱」¹⁾に記載してある。その要点は温度 θ_1 から θ_2 までに単位水当量の物体から放散される熱量は飽和温度を θ_s とした場合次式で与えられる。

$$\theta_s \log \frac{\theta_s - \theta_1}{\theta_s - \theta_2} = (\theta_2 - \theta_1) \quad (3)$$

θ_1 から θ_2 まで上昇するに要する時間を3図の曲線から求め、(3)式により得た量を割れば単位時間についての補正量が得られる。此量が今の場合直に上昇温度の補正量となる。一例を挙げれば3図の曲線につき $\theta_s = 60 - 23 = 37$, $\theta_2 = 56 - 23 = 33$, $\theta_1 = 46 - 23 = 23$ 。として(3)式から 36.3 を得、 θ_1 から θ_2 までの時間は曲線から 7.5 分であるから、所要の補正量は $36.3 \div 7.5 = 4.8$ となる。それ故放熱に対する補正を行った値は $37 + 4.8 = 41.8$ となる。此値は5図の右から二番目の点で示されておる。

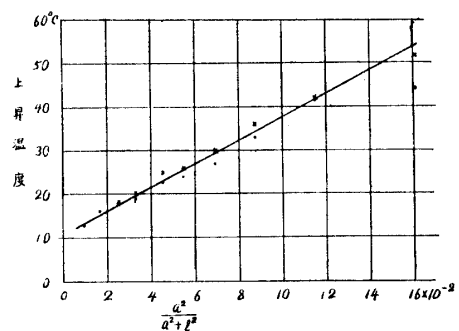
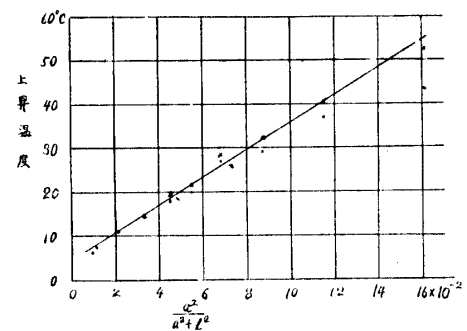
4. 実験結果及びその考察

上述の方法により得られた結果の一例をI表に示す。補正量は寒暖計が電熱盤から遠い程小となり、35 cm を越えたものについては之を省略した。表の三行目に(2)式が直線関係を示すことを検するために必要な量を記した。此量を横軸に、補正された温度を縦軸にして両者の関係を示せば4図の如くなる。図中・印は補正を加えない場

1) 西京大学学術報告 第二巻第二号 p. 79

I 表
電熱盤の半径 $a=6.5\text{cm}$

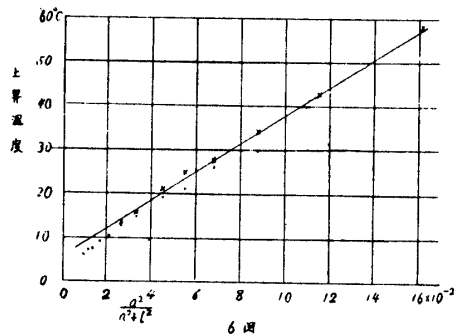
番号	電熱盤からの距離 l	a^2 $a^2 + l^2$	寒暖計の示度 (気温を差引く)	補正量	補正された温度
1	15cm	16.11×10^{-2}	43.5°C	8.9°C	52.4
2	18	11.54	37	3.6	40.6
3	21	8.74	29	3.3	32.3
4	24	6.83	27	1.6	28.6
5	27	5.48	20	1.6	21.6
6	30	4.48	18	1.6	19.6
7	35	3.33	14.3	0.4	14.7
8	40	2.57	—	—	—
9	45	2.04	11	—	11
10	50	1.66	—	—	—
11	55	1.38	—	—	—
12	60	1.16	7.7	—	7.7
13	65	0.99	6	—	6



合の温度で、×印は補正を加えた温度である。同様な実験を更に2回行いその結果を5図及び6図に示す。

本実験では使用電流は100ボルト、4アンペア位で多少の変動はあるが之を無視した。又気温は 15°C から 26°C の範囲であるが、気温からの上昇温度を用いたから、気温の差による誤差は何れ小であろうからその誤差を無視した。此等の図を見れば上昇温度は $\frac{a^2}{a^2 + l^2}$ と大体

に於て直線関係にある。その直線が原点を通過しないのは電熱盤から寒暖計までの距離を変え、その間に衡立を



おき、寒暖計が気温まで下るのに相当長時間を要するから、実験を速にするために寒暖計の示度が正しく気温を示さない前に衡立を取去って実験を行った為である。本実験は理論式(2)を検する目的で実施されたもので、電熱盤の大きさ(半径 6.5 cm)に比して銅冠の受熱面の大きさ(縦横夫々 1.3 cm 及び 1.1 cm の楕円)は面積に於て $\frac{1}{100}$ より小であるから、理論式が点と考えておるのと比して大差がなからう。故に本実験はその目的を達したものである。

5. 参考資料

寒暖計の水銀溜の重量の概算を求める為に、寒暖計の全重量 m gr を測り、次に水銀溜の長さ a cm を測る。7 図に示す如く寒暖計を一点で水平に支え、支点から水



7 図

銀溜の右端までの長さ b cm を測る、支点から右の方に b cm を取り、残りの部分を c cm とする。図に於て a, b, c の部分の重量を夫々 x, p, q gr とすれば、力の能率から

$$\left(b + \frac{a}{2}\right)x + \frac{b}{2}p = \frac{b}{2}p + \left(b + \frac{c}{2}\right)q \quad (4)$$

又全重量は

$$x + 2p + q = m \quad (5)$$

(4), (5)の式から x を求めれば

$$x = \frac{2bc + c^2}{4bc + 4b^2 + 2ab + ac + c^2} \cdot m \quad (6)$$

本実験に用いた寒暖計につき

$$m = 22.7 \text{ gr}, a = 1.5 \text{ cm}, b = 12.6 \text{ cm}, c = 3.3 \text{ cm}$$

であるから之を(6)式に入れて $x = 2.5$ gr となる。

水銀溜の質量 2.5 gr の内その $\frac{1}{5}$ が硝子壁であると仮定して硝子の質量 0.5 gr、水銀の質量 2.0 gr、硝子及び水銀の比熱は夫々 0.2 及び 0.033 として水銀溜の水当量

は 0.166 gr となる。又受熱銅冠の質量は 2.2 gr で、比熱は 0.092 であるからその水当量は 0.2024 gr である。受熱銅冠及び水銀溜の全水当量は概略 0.37 gr となる。之が(2)式の w である。次に銅冠の受熱面は長径 1.3 cm、短径 1.1 cm の楕円であるから、その面積は 1.12 cm² で、之が(2)式の S である。電熱盤を流れる電流は 100 ボルト、4 アンペアとして1分間の発熱量 H は

$$H = 0.24 \times 100 \times 4 \times 60 = 5760 \text{ (cal)}$$

電熱盤の有効半径 a が 6.5 cm であるから単位面積につき発熱量は 43.4 cal となる。電熱盤に厚みがあり裏側へも、周辺へも熱が発散され、又対流により周囲に熱が逃げているから寒暖計のある側へは 43.4 cal の $\frac{4}{10}$ が発散されるものと仮定すればその量は 17.4 cal であり、

之が寒暖計に及ぼす単位面積についての発熱量で、(2)式の k である。電熱盤から寒暖計までの距離 l が 18 cm の場合につき(2)式の右辺に上記の数値を入れて計算すれば

$$\frac{k\pi a^2}{a^2 + l^2} S = \frac{17.4 \times 3.14 \times 6.5^2}{6.5^2 + 18^2} \times 1.12 = 7.06 \text{ (cal)}$$

(2)式に $w = 0.37$ を入れて $\theta = 19.1^\circ\text{C}$ となる。 $l = 18$ cm の場合の3図につき、気温から 19.1°C 上昇する間に銅冠から外気に放散する熱量は(3)式を用いて、 $\theta_s = 37$, $\theta_2 = 19.1$, $\theta_1 = 0$ として計算すれば、 7.8°C となり、之を 19.1°C から引去れば 11.3°C となる。之が寒暖計が始めの1分間に気温から上昇する温度である。3図によれば、寒暖計の始めの示度が 26°C であるから、今は此温度から測って始めの1分間に上昇する温度は 10°C であって計算値と大略同程度である。 $l = 30$ cm, $l = 45$ cm につき同様の計算を行い、 $l = 18$ cm の場合を含めてその結果をⅡ表に示す。Ⅱ表に於て何れも計算値と実験値

Ⅱ 表

番号	電熱盤と寒暖計との距離 l	始めの1分間の上昇温度	
		計算値	実験値
1	18cm	11.3°C	10°C
2	30	4.7	4
3	45	2.8	1.8

は大体同程度であると思われる。以上は仮定が相当に多く信用程度は相当低いけれども、概略の事を推定する程度のものとしては差支えなからう。

終りに本実験実施に際し中根康代、藤谷嘉子の両嬢の熱心な記録作成に対し深く感謝する。

(1956年10月受領)